

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών μηχανών.

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι, να **κατανοήσουν** οι μαθητές σε γενικές γραμμές τον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών, τόσο των γεννητριών όσο και των κινητήρων συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και να επιλύουν απλά προβλήματα.

Ορισμοί

□ Ηλεκτρική μηχανή ονομάζεται κάθε διάταξη η οποία μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ή αντίστροφα ή μετατρέπει τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού ρεύματος.

Με βάση τον ορισμό οι ηλεκτρικές μηχανές διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **Γεννήτριες:** είναι μηχανές οι οποίες παραλαμβάνουν μηχανική ενέργεια και αποδίδουν ηλεκτρική ενέργεια.
- **Κινητήρες:** είναι μηχανές οι οποίες παραλαμβάνουν ηλεκτρική ενέργεια και αποδίδουν μηχανική ενέργεια.
- **Μετασχηματιστές:** είναι μηχανές οι οποίες παραλαμβάνουν ηλεκτρική ενέργεια και την αποδίδουν σε μία ή περισσότερες καταναλώσεις μετασχηματίζοντας τους συντελεστές της ισχύος, δηλαδή την τάση (V) και το ρεύμα (I), όχι όμως την ισχύ ($P = V \cdot I$).
- **Ανορθωτές:** είναι μηχανές οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές.
- **Στρεφόμενοι μετατροπείς:** είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και αντίστροφα.

Στη συνέχεια, εξετάζονται τα τρία πρώτα είδη ηλεκτρικών μηχανών τα οποία συναντώνται πολύ συχνά στην πράξη.

11-1. Μετασχηματιστής (Μ/Σ)

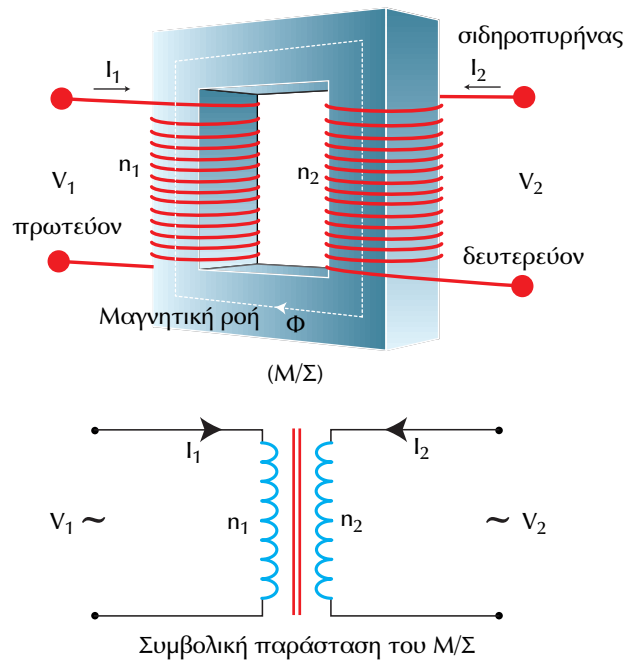
Κάθε Μ/Σ αποτελείται από δύο πηνία και έναν κοινό πυρήνα από σίδηρο (σιδηρομαγνητικό υλικό). Τα δύο πηνία δεν έχουν συνήθως τον ίδιο αριθμό σπειρών αλλά, το ένα έχει περισσότερες από το άλλο (εκτός των περιπτώσεων που ο Μ/Σ χρησιμοποιείται για απομόνωση).

Το πηνίο στο οποίο συνδέεται η τάση που πρόκειται να μετασχηματιστεί ονομάζεται **πρωτεύον**, ενώ το πηνίο από το οποίο προκύπτει η μετασχηματισμένη τάση ονομάζεται **δευτερεύον**.

Και τα δύο πηνία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρωτεύον ή δευτερεύον ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν αρκεί να μην υπερβαίνουμε τις τάσεις για τις οποίες προορίζονται.

Επίσης, τα δύο πηνία (τυλίγματα) ενός Μ/Σ δεν έρχονται σε ηλεκτρική επαφή ποτέ.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται τα μέρη ενός Μ/Σ καθώς επίσης και η συμβολική του παράσταση.



Σχήμα 11.1. Μ/Σ και συμβολική παράσταση αυτού

Συνδέοντας το πρωτεύον πηνίο με πηγή εναλλασσόμενης τάσης, διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό όμως, προκαλεί αδιάκοπη μεταβολή της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του πηνίου και κατά συνέπεια και στον πυρήνα που είναι κοινός και για τα δύο πηνία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει και στη ροή, η οποία είναι αιτία εμφάνισης εναλλασσόμενης τάσης στα άκρα δευτερεύοντος πηνίου ($V_{\text{επαγ.}} = n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$)

Αποδεικνύεται ότι, μεταξύ τάσεων, ρευμάτων και αριθμού σπειρών ισχύει η σχέση:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (11.1)$$

με την προϋπόθεση ότι η ισχύς του πρωτεύοντος ($V_1 \cdot I_1$) είναι ίση περίπου με την ισχύ του δευτερεύοντος ($V_2 \cdot I_2$).

Όπως σε κάθε μηχανή έτσι και στους Μ/Σ υπάρχουν απώλειες ενέργειας με αποτέλεσμα η ισχύς στο δευτερεύον να είναι λίγο μικρότερη από την ισχύ του πρωτεύοντος.

Επειδή όμως σ' έναν Μ/Σ δεν υπάρχουν κινητά μέρη, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν απώλειες και έτσι ο Μ/Σ εμφανίζει μεγάλο βαθμό απόδοσης ($\sim 95\%$) σε σχέση με άλλες μηχανές.

Από τη σχέση (11.1) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Εάν $n_1 > n_2 \Rightarrow V_1 > V_2$

Στην περίπτωση αυτή ο Μ/Σ ονομάζεται **υποβιβαστής τάσης** διότι υποβιβάζει την τάση του πρωτεύοντος.

- Εάν $n_1 < n_2 \Rightarrow V_1 < V_2$

Στην περίπτωση αυτή ο Μ/Σ ονομάζεται **ανυψωτής τάσης** διότι ανυψώνει την τάση του πρωτεύοντος.

Οι Μ/Σ είναι μηχανές με ευρεία χρήση σε καθημερινό επίπεδο και σε πολύ σημαντικές λειτουργίες που αφορούν τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι, για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τον τόπο παραγωγής της χρησιμοποιούνται Μ/Σ ανύψωσης τάσης γιατί οι απώλειες σε ενέργεια είναι αμελητέες όταν η τάση με την οποία μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ μεγάλη.

Οι μεγάλες όμως τάσεις είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται Μ/Σ υποβιβασμού τάσης έτσι ώστε να ελαττωθεί η τάση του δικτύου πριν τροφοδοτηθούν καταναλωτές (βιομηχανίες, κατοικίες, κ.λ.π.).

Τέλος, ευρεία χρήση Μ/Σ γίνεται σε ηλεκτρονικά κυκλώματα, ανορθωτικές διατάξεις, τροφοδοτικά, παιχνίδια κ.λ.π.

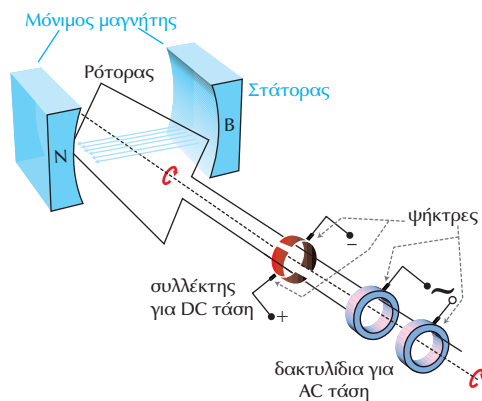
11-2. Γεννήτριες

Οι γεννήτριες ανάλογα με το είδος του ρεύματος που παράγουν διακρίνονται ως εξής:

- **γεννήτριες συνεχούς ρεύματος:** είναι οι γεννήτριες που παράγουν συνεχές ρεύμα.
- **γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος:** είναι οι γεννήτριες που παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα.

11-2.1. Κατασκευή - Λειτουργία γεννήτριας

Ανεξάρτητα από το είδος τους οι γεννήτριες αποτελούνται από το **στάτη** (σταθερό μέρος της μηχανής) ο οποίος δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο και τον **ρότορα** (κινητό μέρος της μηχανής) που στις άκρες των σπειρών του τυλίγματος του εμφανίζεται (αναπτύσσεται) τάση V .



Σχήμα 11.2. Δομικό διάγραμμα γεννήτριας

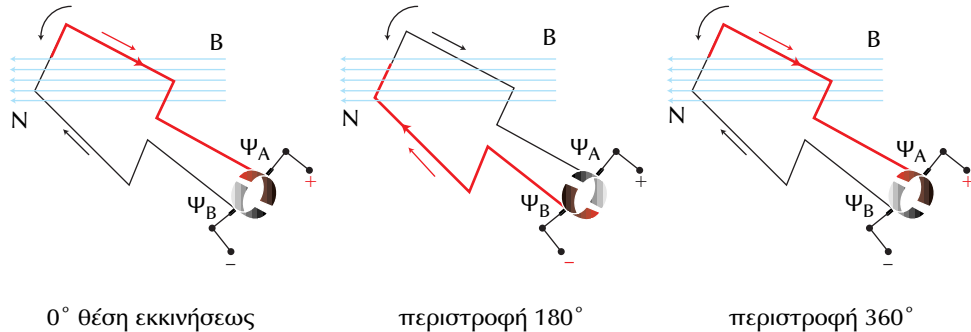
Η περιστροφή του πλαισίου της γεννήτριας (ρότορας) μέσα στο μαγνητικό πεδίο προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής $\Delta\Phi$ στο πλαίσιο με αποτέλεσμα να εμφανίζεται επαγωγική τάση στα άκρα του η οποία είναι εναλλασσόμενη ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής του πλαισίου.

- **παραγωγή συνεχούς ρεύματος (γεννήτρια DC)**

Γίνεται με τη βοήθεια του συλλέκτη, ο οποίος είναι ένας μηχανικός ανορθωτής, δηλαδή μετατροπέας της AC τάσης και AC ρεύματος σε DC τάση και DC ρεύμα.

Αποτελείται από αγωγικές επιφάνειες (χάλκινα ελάσματα) που ονομάζονται **τομείς** και είναι μονωμένες μεταξύ τους. Εξωτερικά εφάπτονται οι **ψήκτρες** οι οποίες είναι από αγωγικό υλικό. Οι ψήκτρες είναι πάντα ακίνητες και δεν επηρεάζουν την περιστροφή του ρότορα.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως παράγεται συνεχής τάση με το συλλέκτη.



Σχήμα 11.3. Παραγωγή συνεχούς τάσης με τη βοήθεια συλλέκτη

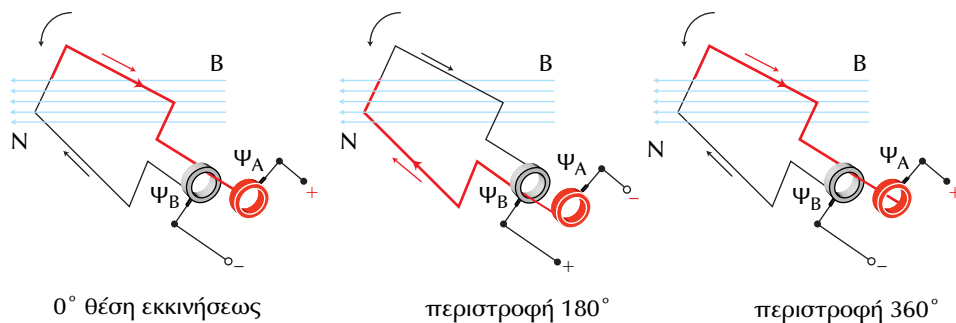
Παρατηρούμε ότι, η ψήκτρα Α συνδέεται εναλλάξ με τους τομείς με τρόπο ώστε να διαρρέεται πάντοτε από ρεύμα ίδιας φοράς. Το ίδιο ισχύει και για τη ψήκτρα Β.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η πολικότητα των ψηκτρών να είναι σταθερή επομένως έχουμε παραγωγή συνεχούς τάσης και ρεύματος.

• **παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος (γεννήτρια AC)**

Γίνεται με τη βοήθεια αγωγίων δακτυλιδίων από χαλκό πάνω στα οποία εφάπτονται εξωτερικά οι ψήκτρες, επιτρέποντας έτσι στο σύστημα να περιστρέφεται ελεύθερα.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως παράγεται εναλλασσόμενη τάση με τη βοήθεια των δακτυλιδίων.



Σχήμα 11.4. Παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης με τη βοήθεια δακτυλιδίων

Παρατηρούμε ότι, η ψήκτρα Α είναι μόνιμα συνδεδεμένη με το ίδιο δακτυλίδι (κόκκινο) με αποτέλεσμα να διαρρέεται περιοδικά από ρεύμα αντίθετης φοράς. Το ίδιο ισχύει και για τη ψήκτρα Β.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η πολικότητα των ψηκτρών να εναλλάσσεται περιοδικά, επομένως έχουμε παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης και ρεύματος.

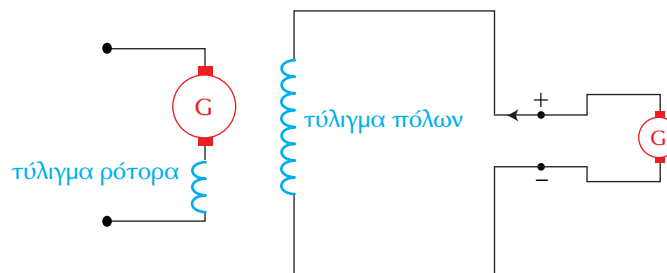
11-2.2. Γεννήτριες DC

Στις μεγάλες μηχανές το μαγνητικό πεδίο δεν δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες αλλά από ηλεκτρομαγνήτες οι οποίοι έχουν το δικό τους τύλιγμα και για να δημιουργηθεί μαγνητικό πεδίο πρέπει να τροφοδοτηθούν με ρεύμα το οποίο παράγεται από μικρότερη γεννήτρια μόνιμων μαγνητών (διεγέρτρια).

Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέεται το τύλιγμα των πόλων (ηλεκτρομαγνητών) σε σχέση με το τύλιγμα του ρότορα μιας γεννήτριας DC, διακρίνονται τα παρακάτω είδη:

- **Γεννήτριες DC ξένης διέγερσης**

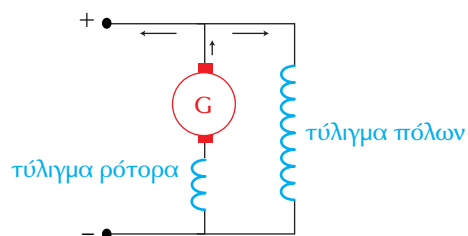
Το τύλιγμα των πόλων το οποίο αποτελείται από πλλές σπείρες λεπτού σύρματος τροφοδοτείται από εξωτερική πηγή π.χ. μια μικρή γεννήτρια μόνιμων μαγνητών.



Σχήμα 11.5. Γεννήτρια DC ξένης διέγερσης

- **Γεννήτριες DC παράλληλης διέγερσης**

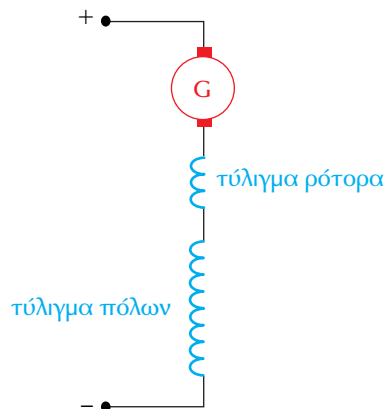
Το τύλιγμα των πόλων που αποτελείται από πολλές σπείρες λεπτού σύρματος, συνδέεται παράλληλα στα άκρα της μηχανής και τροφοδοτείται από την ίδια τάση που παράγει η μηχανή.



Σχήμα 11.6. Γεννήτρια DC παράλληλης διέγερσης

- **Γεννήτριες DC με διέγερση σειράς**

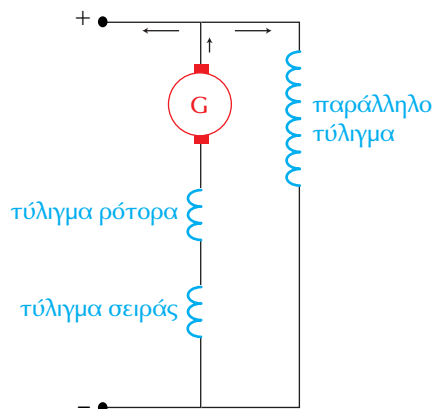
Το τύλιγμα των πόλων το οποίο αποτελείται από λίγες σπείρες χοντρού σύρματος, συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου και διαρρέεται από το ολικό ρεύμα που παράγει η μηχανή και παρέχει στο φορτίο.



Σχήμα 11.7. Γεννήτρια DC με διέγερση σειράς

- **Γεννήτριες DC σύνθετης διέγερσης**

Το τύλιγμα των πόλων αποτελείται από ένα τύλιγμα σειράς λίγων και χοντρών σπειρών και από ένα παράλληλο τύλιγμα πολλών και λεπτών σπειρών.



Σχήμα 11.8. Γεννήτρια DC σύνθετης διέγερσης

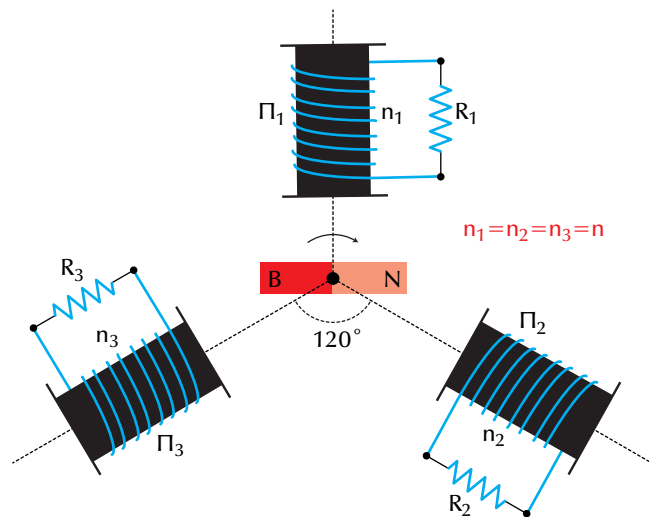
11-2.3. Γεννήτριες AC

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος ανάλογα με το είδος του ρεύματος που παράγουν διακρίνονται στις εξής κατηγορίες

- **μονοφασικές:** είναι οι γεννήτριες που παράγουν μονοφασικό ρεύμα και είναι ανάλογες με τις γεννήτριες DC
- **τριφασικές:** είναι οι γεννήτριες που παράγουν τριφασικό ρεύμα.

Τα ρεύματα αυτά αναπτύσσονται σε τρία ανεξάρτητα πηνία (φάσεις) που βρίσκονται στο στάτορα και οι άξονές τους σχηματίζουν γωνία 120° ο ένας από τον άλλον.

Το μαγνητικό πεδίο το δημιουργεί ο δρομέας ο οποίος είναι ηλεκτρομαγνήτης και τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα το οποίο παράγεται από μια μικρή γεννήτρια DC παραλλήλου διέγερσης γνωστή ως διεγέρτρια.



Σχήμα 11.9. Γεννήτρια AC τριφασική

Οι τριφασικές γεννήτριες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθότι, η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με τριφασικό ρεύμα απαιτεί τους μισούς σχεδόν αγωγούς από όσους θα απαιτούσε η μεταφορά της ίδιας ενέργειας με μονοφασικό ρεύμα.

Οι γεννήτριες AC ανάλογα με το εάν η συχνότητα του ρεύματος εξαρτάται από την περιστροφή του δρομέα, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **σύγχρονες:** η συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα

- **ασύγχρονες:** η συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος δεν εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής το δρομέα.

11-3. Κινητήρες

Οι κινητήρες ανάλογα με το είδος του ρεύματος που χρησιμοποιούν διακρίνονται σε:

- **κινητήρες συνεχούς ρεύματος:** είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα
- **κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος:** είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα.

Η αρχή λειτουργίας των κινητήρων στηρίζεται στις δυνάμεις Laplace οι οποίες ασκούνται πάνω στους αγωγούς των δρομέων τους ($F = B \cdot I \cdot \ell$).

11-3.1. Κινητήρες DC

Κατασκευαστικά οι κινητήρες είναι ίδιοι με τις γεννήτριες και αποτελούνται από το ρότορα (δρομέα, οι άκρες του οποίου συνδέονται με το συλλέκτη ο οποίος παίρνει ρεύμα από τις ψήκτρες και το διοχετεύει στο πλαίσιο του ρότορα και από το στάτορα ο οποίος, δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο μέσα στο οποίο περιστρέφεται ο ρότορας. Ο στάτορας μπορεί να είναι ένας μόνιμος μαγνήτης ή ένας ηλεκτρομαγνήτης.

Όταν περνάει ρεύμα από το πλαίσιο του ρότορα, αναπτύσσεται ροπή στο πλαίσιο η οποία οφείλεται στις δυνάμεις Laplace, και η οποία αναγκάζει το πλαίσιο να περιστραφεί.

Όταν ο μαγνητικός άξονας του πλαισίου γίνεται παράλληλος προς το μαγνητικό πεδίο, η ροπή μηδενίζεται αλλά το πλαίσιο δεν σταματά διότι έχει ήδη κάποια κινητική ενέργεια, με αποτέλεσμα να συνεχίζει την περιστροφή του δεχόμενο εκ νέου ώθηση. Οι περιοδικές αυτές ωθήσεις πραγματοποιούνται χάρη στο συλλέκτη που ανοιγοκλείνει αυτόματα το κύκλωμα του πλαισίου.

Εάν ο κινητήρας συναντήσει κάποια αντίσταση τη στιγμή κατά την οποία η ροπή είναι μηδενική, μπορεί να σταματήσει.

Το ενδεχόμενο αυτό αποφεύγεται τοποθετώντας δύο πηνία κάθετα μεταξύ τους με αποτέλεσμα η ροπή να μη μηδενίζεται ποτέ.

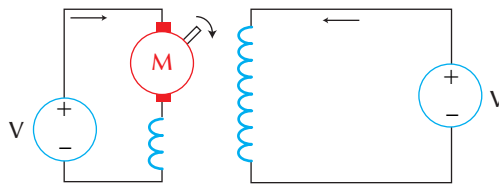
Σε ισχυρούς κινητήρες χρησιμοποιούνται πολλά πλαίσια ώστε να υπάρχει μεγάλη ροπή στο ρότορα.

Στους μεγάλους κινητήρες, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τροφοδοτείται το τύλιγμα των πόλων διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **Κινητήρες DC ξένης διέγερσης**

Το τύλιγμα των πόλων τροφοδοτείται από ξένη πηγή διαφορετική από αυτή του δρομέα.

Οι κινητήρες αυτοί επιτρέπουν ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής σε μεγάλα όρια.

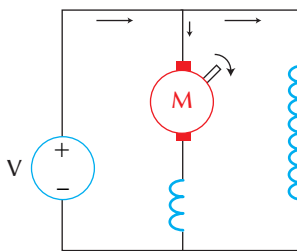


Σχήμα 11.10. Κινητήρας DC ξένης διέγερσης

- **Κινητήρες DC παράλληλης διέγερσης**

Το τύλιγμα των πόλων τροφοδοτείται από την ίδια πηγή με την οποία τροφοδοτείται και ο δρομέας.

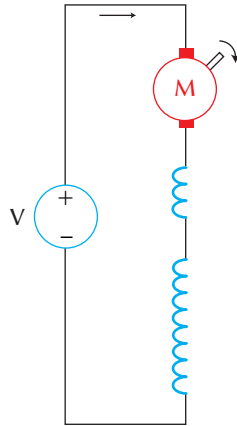
Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν μικρή πτώση της ταχύτητας περιστροφής καθώς αυξάνεται το φορτίο και χρησιμοποιούνται σε ανάλογες εφαρμογές.



Σχήμα 11.11. Κινητήρας DC παράλληλης διέγερσης

- **Κινητήρες DC με διέγερση σειράς**

Το τύλιγμα των πόλων συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα και αποτελείται από λίγες σπείρες χοντρού σύρματος. Η ροπή στους κινητήρες αυτούς είναι ανάλογη με το τετράγωνο του ρεύματος και για το λόγο αυτό είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε μεγάλα φορτία καθώς επίσης και σε ηλεκτρικά οχήματα.

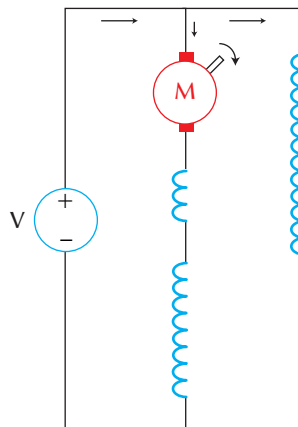


Σχήμα 11.12. Κινητήρας DC με διέγερση σειράς

• Κινητήρες DC σύνθετης διέγερσης

Το τύλιγμα των πόλων αποτελείται από ένα τύλιγμα σειράς και είναι παράλληλο τύλιγμα.

Τα χαρακτηριστικά των κινητήρων αυτών είναι συνδυασμός των χαρακτηριστικών των κινητήρων σειράς και των κινητήρων παράλληλης διέγερσης.



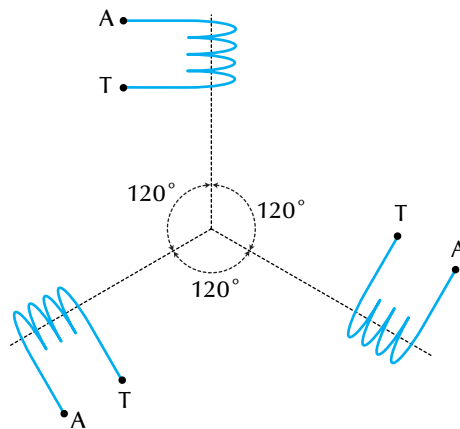
Σχήμα 11.13. Κινητήρας DC σύνθετης διέγερσης

11-3.2. Κινητήρες AC

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος ανάλογα με το είδος του ρεύματος που χρησιμοποιούν διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **μονοφασικοί:** είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούν μονοφασικό ρεύμα.
- **τριφασικοί:** είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούν τριφασικό ρεύμα.

Ο στάτης των τριφασικών κινητήρων έχει συγκεκριμένη κατασκευή και αποτελείται από τρία (3) πηνία φάσης τα οποία βρίσκονται σε γωνία 120° μεταξύ τους.



Σχήμα 11.14. Στάτης τριφασικού κινητήρα

Τα τρία πηνία φάσης μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους είτε σε αστέρα (Y) είτε σε τρίγωνο (Δ) ανάλογα με την ονομαστική τάση κάθε φάσης και ανάλογα με τη τάση τροφοδοσίας.

Όταν τα πηνία τροφοδοτηθούν με τριφασικό ρεύμα δημιουργείται στο στάτη στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο με τη σειρά του προκαλεί ροπή στο ρότορα.

Η ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου δίνεται από τη σχέση

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ (στρ/min)} \quad \text{ή} \quad n = \frac{f}{p} \text{ (στρ/sec)} \quad (11.2)$$

όπου f : συχνότητα τροφοδοσίας

p : πλήθος ζευγών πόλων

Οι κινητήρες AC ανάλογα με το εάν η περιστροφή του δρομέα εξαρτάται από τη συχνότητα τροφοδοσίας, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **σύγχρονοι:** η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα εξαρτάται από τη συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας και η ταχύτητα αυτή είναι ίση με τη ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου (σχέση 11.2).

Οι σύγχρονοι κινητήρες ανεξάρτητα του εάν είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί

έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας. Μοναδική διαφορά είναι το τύλιγμα του στάτη και κατ' επέκταση η τροφοδοσία αυτού.

- **ασύγχρονοι:** η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα δεν εξαρτάται από τη συχνότητα του ρεύματος αλλά από το φορτίο.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες ανεξάρτητα του εάν είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας.

Η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι μονοφασικοί έχουν στο στάτη το κύριο και βοηθητικό τύλιγμα ενώ η τριφασικοί έχουν μόνα τα κύρια τυλίγματα των τριών φάσεων.

11-4. Εφαρμογές

Εφαρμογή 1η

Μετασχηματιστής με τάση πρωτεύοντος $V_1 = 220(\text{V})$, έχει αριθμό σπειρών πρωτεύοντος $n_1 = 500$ σπείρες και αριθμό σπειρών δευτερεύοντος $n_2 = 250$ σπείρες. Ζητείται η τάση V_2 του δευτερεύοντος.

Λύση

Η τάση του δευτερεύοντος προκύπτει από τη γνωστή σχέση των μετασχηματιστών:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow V_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot V_1 = \frac{250}{500} \cdot 220 = 110 (\text{V})$$

Εφαρμογή 2η

Η ένταση του ρεύματος στο πρωτεύον πηνίο ενός Μ/Σ είναι $4(\text{A})$ και η τάση $V_1 = 42 (\text{V})$. Εάν $V_2 = 120 (\text{V})$ να βρεθούν, η ένταση του ρεύματος στο δευτερεύον και η ισχύς του Μ/Σ (απώλειες δεν υπάρχουν, $P_1 \approx P_2$).

Λύση

Η ένταση του ρεύματος στο δευτερεύον πηνίο του Μ/Σ προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_2 = I_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} = 4 \cdot \frac{42}{120} \Rightarrow I_2 = 1,4 \text{ (A)}$$

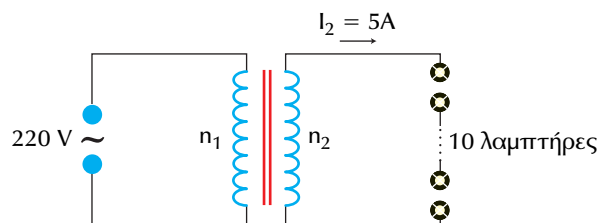
Η ισχύς του Μ/Σ είναι:

$$P = P_1 = P_2 = V_1 \cdot I_1 = 42 \cdot 4 \Rightarrow P = 168 \text{ (W)}$$

Εφαρμογή 3η

Για το φωτισμό ενός κήπου απαιτούνται 10 λαμπτήρες συνδεδεμένοι σε σειρά διαρρεόμενοι από ρεύμα εντάσεως $I = 5\text{A}$. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μετασχηματιστής ισχύος 200 VA με αριθμό σπειρών πρωτεύοντος $n_1 = 1000$ σπείρες. Η τάση του πρωτεύοντος είναι 220 V. Ζητείται:

- ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος n_2 .
- Η τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή V_2
- Η τάση κάθε λαμπτήρα
(οι απώλειες του μετασχηματιστή θεωρούνται αμελητέες, $P_1 \simeq P_2$)

Λύση

- Το ρεύμα του πρωτεύοντος υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = V_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{P_1}{V_1} = \frac{200}{220} = 0,9 \text{ (A)}$$

Το ρεύμα στο δευτερεύον είναι $I_2 = I = 5\text{(A)}$

Ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος υπολογίζεται από την γνωστή σχέση των μετασχηματιστών:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow n_2 = \frac{I_1}{I_2} \cdot n_1 = \frac{0,9}{5} \cdot 1000 \Rightarrow n_2 = 180 \text{ σπείρες}$$

β) Από την σχέση:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \text{ έχουμε: } V_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot V_1 = \frac{180}{1000} \cdot 220 \Rightarrow V_2 = 39,6 \text{ (V)}$$

γ) Η τάση λειτουργίας κάθε λαμπτήρα δίνεται από την σχέση

$$V_{\text{λαμπ}} = \frac{V_2}{\text{πλήθος λαμπτήρων}} = \frac{39,6}{10} = 3,96 \text{ (V)}$$

Εφαρμογή 4η

Αγωγός μήκους $\ell = 0,5 \text{ m}$ κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής $B = 0,8 \text{ (T)}$ με ταχύτητα $u = 50 \text{ m/sec}$ κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

Να βρεθεί η επαγόμενη τάση στον αγωγό.

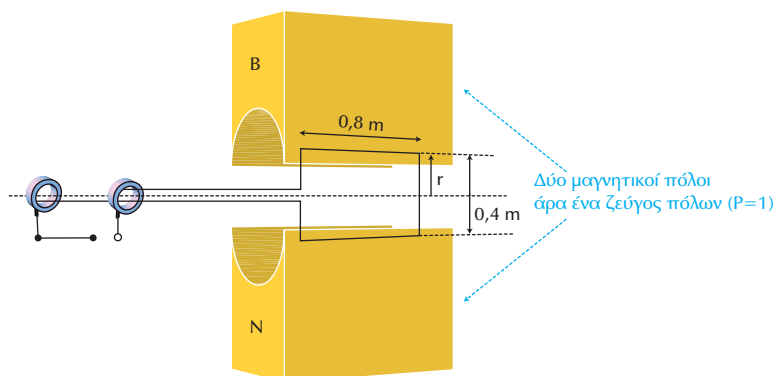
Λύση

Από τη σχέση του Faraday προκύπτει

$$V_{\text{επαγ.}} = B \cdot u \cdot \ell = 0,8 \cdot 50 \cdot 0,5 \Rightarrow V_{\text{επαγ.}} = 20 \text{ (V)}$$

Εφαρμογή 5η

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια Γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος.



Ο ρότορας της γεννήτριας στρέφεται με ταχύτητα $n = 20$ (στρ/sec) μέσα σε μαγνητικό πεδίο επαγωγής $B = 0,5$ (T). Δεδομένου ότι $u = 2\pi r \cdot n$ (m/sec), $f = n \cdot p$ όπου f : συχνότητα ρεύματος, n : αριθμός στροφών δρομέα ανά δευτερόλεπτο, p : πλήθος ζευγών πόλων μηχανής και ο ρότορας αποτελείται από μια σπείρα, ζητούνται:

- α) Η παραγόμενη τάση της γεννήτριας
- β) Η συχνότητα της παραγόμενης τάσεως

Λύση

α) Η απόσταση r του κάθε πλευρικού αγωγού του πλαισίου από τον άξονα της μηχανής δίνεται από τη σχέση:

$$r = \frac{\text{πλάτος πλαισίου}}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ m}$$

Η ταχύτητα του ρότορα είναι: $u = 2\pi r \cdot n = 2\pi \cdot 0,2 \cdot 20 = 25,13$ (m/s)
Επομένως

$$V_{\text{επαγ.}} = 2 \cdot B \cdot \ell \cdot u = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 25,13 = 20,104 \text{ (V)}$$

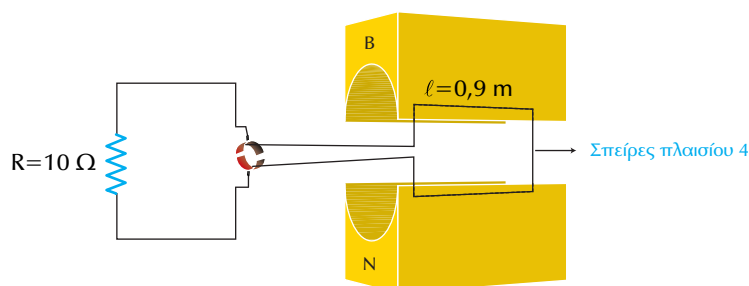
(ο συντελεστής 2 δηλώνει ότι δυο αγωγοί μήκους ℓ περιστρέφονται κάθετα στο πεδίο).

β) Από τη σχέση $f = n \cdot p$, προκύπτει:

$$f = 20 \cdot 1 = 20 \text{ (Hz)}$$

Εφαρμογή 6η

Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος με τέσσερις σπείρες στο ρότορα, ο οποίος περιστρέφεται με ταχύτητα 100 (m/sec) σε πεδίο 0,2 (T), τροφοδοτεί αντίσταση 10 (Ω). Εάν το μήκος του πλαισίου είναι $\ell = 0,9$ (m), βρείτε την ισχύ που παρέχει η γεννήτρια στο φορτίο.

Λύση

Οι σπείρες του πλαισίου είναι 4 άρα προκύπτει ότι υπάρχουν 4 αγωγοί στο πάνω μέρος του πλαισίου και άλλοι 4 στο κάτω. Επομένως 8 αγωγοί κινούνται με ταχύτητα 100 (m/sec).

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday προκύπτει:

$$V_{\text{επ.}} = 8 \cdot B \cdot u \cdot \ell = 8 \cdot 0,2 \cdot 100 \cdot 0,9 = 144 \text{ (V)}$$

Επομένως $P = \frac{V_{\text{επ.}}^2}{R} \Rightarrow P = \frac{(144)^2}{10} = 2073,6 \text{ (W)}$ είναι η παρεχόμενη ισχύς από τη γεννήτρια στο φορτίο.

Εφαρμογή 7η

Αγωγός διαρρέεται από ρεύμα έντασεως 50 A, είναι κάθετος σε μαγνητικό πεδίο επαγωγής $B = 0,8 \text{ T}$. Το μήκος του αγωγού είναι $\ell = 0,5 \text{ m}$. Ζητείται η δύναμη Laplace που ασκείται στον αγωγό.

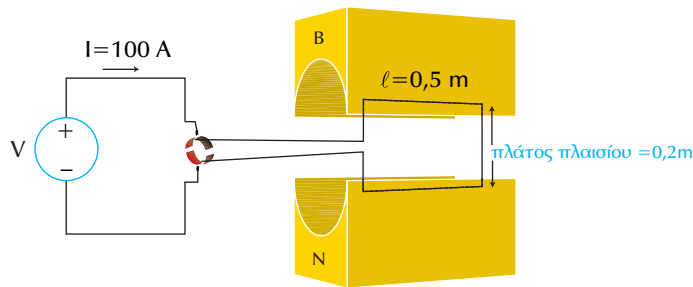
Λύση

Η δύναμη Laplace που αναπτύσσεται είναι:

$$f = B \cdot I \cdot \ell = 0,8 \cdot 50 \cdot 0,5 = 20 \text{ (N)}$$

Εφαρμογή 8η

Σε κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ο ρότορας αποτελείται από μια σπείρα που έχει μήκος $\ell = 0,5 \text{ (m)}$ και πλάτος 0,2 (m). Βρίσκεται δε σε μαγνητικό πεδίο επαγωγής $B = 0,8 \text{ (T)}$ και διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 100 \text{ (A)}$. Ζητείται η ροπή του κινητήρα.

Λύση

Η ακτίνα r του κύκλου που διαγράφει το πλαίσιο δίνεται από τη σχέση:

$$r = \frac{\text{πλάτος πλαισίου}}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ m}$$

Άρα η ροπή του κινητήρα είναι:

$T = 2 \cdot F \cdot r = 2(B \cdot I \cdot \ell)r = 2 \cdot 0,8 \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot 0,1 = 8 \text{ Nm}$ (το 2 δηλώνει ότι οι αγωγοί που κινούνται κάθετα στο πεδίο είναι δύο)

Εφαρμογή 9η

Ζητείται η ταχύτητα περιστροφής σε (στρ/sec) και (στρ/min) σύγχρονου κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος ο οποίος έχει 4 πόλους και τροφοδοτείται από τριφασικό δίκτυο συχνότητας 50 Hz.

Λύση

Σύμφωνα με τη σχέση: $n = \frac{f}{p}$ προκύπτει:

$$n = \frac{50}{2} = 25 \text{ στρ/sec}$$

$$n = 25 \cdot 60 = 1500 \text{ στρ/min}$$

Σχόλιο: Επειδή ο κινητήρας έχει 4 πόλους το πλήθος των ζευγών των πόλων είναι 2 άρα $P = 2$.

Στους σύγχρονους κινητήρες μονοφασικούς - τριφασικούς, η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι ίση με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού

πεδίου του στάτη ενώ στους ασύγχρονους κινητήρες μονοφασικούς-τριφασικούς, η ταχύτητα του δρομέα είναι πάντοτε μικρότερη από την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη $\left(n = \frac{f}{p}\right)$.

11-5. Προβλήματα προς λύση

1^ο Μετασχηματιστής μετατρέπει τάση 1000 (V) σε 1500 (V). Εάν το δευτερεύον έχει 300 σπείρες, πόσες σπείρες έχει το πρωτεύον του Μ/Σ;
($n_1 = 200$ σπείρες)

2^ο Μ/Σ με: $n_1 = 300$ σπείρες, $I_1 = 2$ (A), $I_2 = 10$ (A) και $V_1 = 220$ (V) πρόκειται να μετατραπεί ώστε να δίνει 110 (V) στο δευτερεύον.
Ζητούνται:

- α) ο αριθμός σπειρών n_2 του Μ/Σ πριν τη μετατροπή
- β) η τάση V_2 του Μ/Σ πριν την μετατροπή
- γ) πρέπει να προστεθούν ή να αφαιρεθούν σπείρες από το δευτερεύον του Μ/Σ για να έχει έξοδο 110 (V);
- δ) ο αριθμός των σπειρών που πρέπει να προστεθούν ή να αφαιρεθούν
- ε) η ισχύς του Μ/Σ πριν και μετά την μετατροπή

(α) $n_2 = 60$, β) $V_2 = 44$ (V), γ) θα προστεθούν,
δ) 90 σπείρες, ε) $P_{\text{πριν}} = 440$ (W), $P_{\text{μετά}} = 440$ (W)

3^ο Βρείτε την ταχύτητα περιστροφής του πλαισίου μιας γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο περιστρέφεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο 0,2 (T). Το πλαίσιο έχει 10 σπείρες, μήκος 0,1 m και παράγει τάση 50 (V). Επίσης, βρείτε τη συχνότητα του ρεύματος εάν είναι γνωστό ότι οι πόλοι είναι 4 και το πλάτος του πλαισίου είναι 0,05 m.

(50 m/s, 636,6 Hz)

4^ο Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος το πλαίσιο της οποίας κινείται με ταχύτητα 10 m/s σε μαγνητικό πεδίο 0,5 (T) και έχει μήκος 0,5 m, παράγει τάση 100 (V). Πόσες σπείρες έχει το πλαίσιο;

(20 σπείρες)

5^ο Ο δρομές μιας γεννήτριας έχει 100 σπείρες και στρέφεται με ταχύτητα

50 m/s. Το μήκος του δρομέας είναι 0,5 m. Η γενήτρια παράγει τάση 500 (V). Βρείτε α) το πεδίο B β) πόσο πρέπει να γίνει η ταχύτητα για να παράγει 1000 (V);

$$(\alpha) B = 0,1 \text{ T}, \beta) u = 100 \text{ m/s}$$

6° Σύγχρονος κινητήρας AC έχει 6 ζεύγη πόλων και ο δρομέας του περιστρέφεται με ταχύτητα 100 στρ/sec. Βρείτε τη συχνότητα του AC ρεύματος με το οποίο τροφοδοτείται ο κινητήρας.

$$(600 \text{ Hz})$$

7° Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας έχει 4 ζεύγη πόλων και τροφοδοτείται από τριφασικό ρεύμα 50 Hz. Αν η ισχύ που αποδίδει είναι 500 (W) και η ροπή 7 (Nm) βρείτε την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου και την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα.

(Δίνεται η σχέση $P = T \cdot 2\pi n$, όπου P : ισχύς, T = ροπή, n : ταχύτητα δρομέα).

$$(12,5 \text{ στρ/s}, 11,36 \text{ στρ/s})$$

8° Κινητήρας DC χρησιμοποιείται για τη κίνηση ηλεκτρικού οχήματος. Εάν η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα είναι 500 (V) και αποδίδει ισχύ 20 (KW), ο δε δρομέας του έχει μήκος 0,6 m, πλάτος 0,4 m και 40 σπείρες και κινείται σε πεδίο 0,8 T, βρείτε την ροπή και τη ταχύτητα περιστροφής του δρομέα εάν ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα είναι 0,8.

(Δίνεται: $P = T \cdot 2\pi n$)

$$(T = 96 \text{ Nm}, n = 33 \text{ στρ/sec})$$

— ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α —

Μέθοδος Cramer

Η γενική μορφή ενός γραμμικού συστήματος 2 εξισώσεων με 2 αγνώστους είναι:

$$\begin{aligned} a_1 x + b_1 y &= c_1 \\ a_2 x + b_2 y &= c_2 \end{aligned} \quad (A1)$$

Η ορίζουσα των συντελεστών είναι:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1 \quad (A2)$$

Εάν $\Delta \neq 0$, το σύστημα (A1) έχει λύση που δίνεται από τις σχέσεις:

$$x = \frac{\Delta_x}{\Delta}, \quad y = \frac{\Delta_y}{\Delta} \quad (A3)$$

όπου

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix} = c_1 b_2 - c_2 b_1$$

και

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix} = a_1 c_2 - a_2 c_1 \quad (A4)$$

Σχόλιο: Η συνθήκη $\Delta \neq 0$ ισχύει πάντα σε προβλήματα ηλεκτρικών κυκλωμάτων καθότι, ρεύματα και τάσεις στους κλάδους ενός ηλεκτρικού κυκλώματος είναι μεγέθη υπαρκτά. Ως εκτούτου, το σύστημα έχει πάντοτε μονοσήμαντη λύση η οποία δίνεται από τη σχέση (A3).

— ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ —

1. **Ηλεκτρικά Κυκλώματα**, Τόμος Α, Γ.Ε. Χατζαράκη, Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ Ε.
2. **Ηλεκτροτεχνία Ι, ΙΙ** Γ.Κ. Κοκκινάκη, Γ.Ι. Καρύδη, Εκδόσεις ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΤΕΝΙΔΟΥ
3. **Ηλεκτροτεχνία**, Fowler, Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ Ε.
4. **Ηλεκτροτεχνία**, Γ. Βουδούρη
5. **Ηλεκτρονικές Τηλεπικοινωνίες** Freznel, Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ Ε.
6. **Ηλεκτρικές Μετρήσεις**, Β.Δ. Μπιτζιώνη, Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ Ε.
7. **Electric Circuits**, J. Nilson, ADDISON WESLEY
8. **Electric Circuits** (Problems Solvers), REA'S
9. **Physics**, R.A. Serway, Saunders College Publishing
10. **Φυσική Β' Τάξη Ενιαίου Λυκείου**, ΟΕΔΒ
11. **Φυσική Γ' Λυκείου**, ΟΕΔΒ
12. **Ηλεκτρικές Μηχανές**, Βασιλακόπουλου Σπυρ. Ν., Εκδόσεις ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΤΕΝΙΔΟΥ
13. **Ηλεκτρικές Μηχανές DC-AC**, Chapman, Stephen J., Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ Ε.

